

PC 橋の桁端部の補修

— 中国自動車道 上西川橋 —

山羽 啓之*1・岡田 寿*2

1. はじめに

上西川橋は、中国自動車道の新見 IC～東城 IC 間に位置し、昭和 53 年に建設された 4 径間 PC 単純合成桁橋である。本橋では桁端部付近の主桁・横桁・張出し床版の下面部に浮き・はく離・鉄筋露出などの劣化が著しくみられたため、劣化進行の抑制と再劣化の防止を目的として、平成 15 年度に補修工事を実施した。また、工事内においても健全性を調査・分析し、その結果を工事に反映させることで、補修内容の適正化に努めた。本報告では、本橋において顕在化していた劣化状況と原因を概説するとともに、補修対策の立案から施工内容について紹介する。

2. 既設橋梁の概要と劣化状況

2.1 既設橋梁の概要

既設橋梁の全景、橋梁緒元および一般図について、それぞれ写真 - 1、表 - 1 および図 - 1 に示す。

2.2 既設橋梁の劣化概要

(1) 一般的な劣化状況

劣化が顕著に発生している箇所は、主桁・端横桁・張出し床版下面といずれも桁端部であり、これは伸縮装置からの漏水跡とほぼ重複することから、冬季に散布する凍結防



写真 - 1 既設橋梁の全景

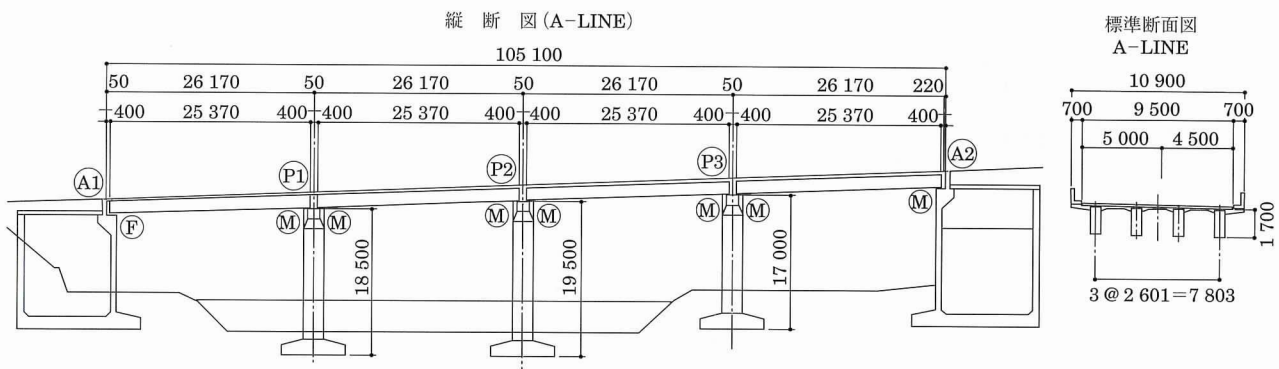


図 - 1 既設橋梁の一般図

表 - 1 既設橋梁の諸元

構造形式	4 径間 PC 単純合成桁
橋長	105 100 m
支間長	4@25 370 m
幅員構成	全幅 10 900 m, 有効幅員 9 500 m
適用基準	道路橋示方書 昭和 43 年 (TL - 20 TT - 43)
コンクリート強度	主桁 $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$, 横桁 $\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
PC 鋼線	主桁 12 - $\phi 7$
PC 鋼棒	横桁横締め $\phi 23$ (SBPR 80 / 95) 横桁縦締め $\phi 32$ (SBPR 80 / 95)
支承	鋼製 108 t BP 脊



*1 Hiroyuki YAMAHA

日本道路公団 中国支社
三次管理事務所 改良助役



*2 Hisashi OKADA

日本道路公団 中国支社
保全部 保全第二課

止剤を含んだ雨水が、漏水したことに起因する塩害劣化の要素が大きいと考えられる。なお、支間中央部の主桁・中間横桁・床版については目立った劣化は確認されなかった。

(2) 主桁の劣化状況

耳桁の外側部については、すべての支点部で劣化が顕在化しており、桁端部から 70 cm 程度の範囲で浮き・はく離および鉄筋の露出が見られ、腐食による鉄筋の断面欠損も一部では生じていた（写真 - 2）。内桁については、桁端部の下フランジに浮き・はく離および錆汁の滲出が確認された。また、支点横桁の横締め PC 鋼棒定着部では PC 鋼棒先端部の発錆や、定着部の後埋めコンクリートに浮き・はく離が見られた箇所もあった。

(3) 端横桁の劣化状況

端横桁の下面および側面部に浮き・鉄筋露出などが見られ、とくに下面部の劣化が顕著であった（写真 - 3）。

(4) 床版の劣化状況

張出し床版の下面部は、桁端部から両側 1m 程度の範囲に、鉄筋の錆汁を伴う浮き・はく離が生じており、いずれ

の支点部においても漏水跡がはっきりと確認できた（写真 - 4）。

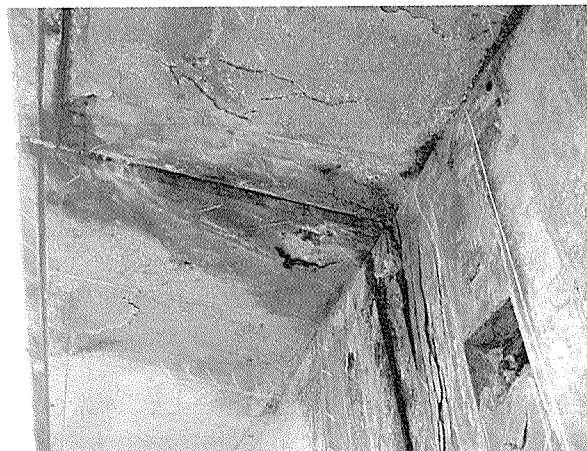


写真 - 4 張出し床版下面部の劣化状況

(5) 伸縮装置部の劣化状況

伸縮装置の鋼製部は著しく発錆しており、止水材料の劣化も見られた。また、地覆シール部についても劣化や欠損が発生し、伸縮装置とともに止水機能を有していない状態であった。

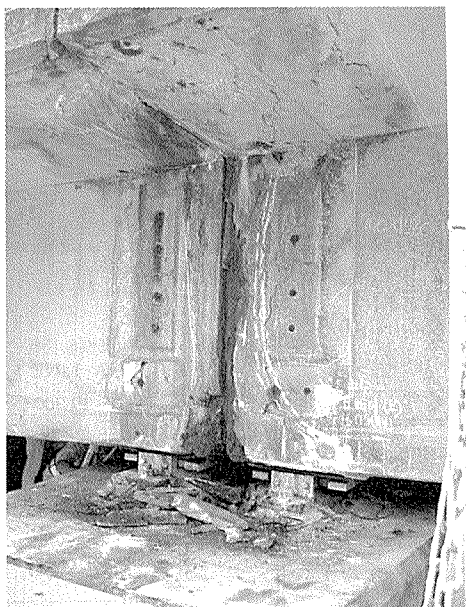


写真 - 2 耳桁側面部の劣化状況

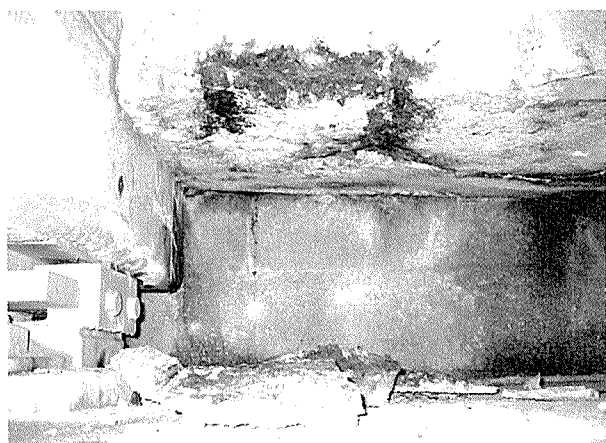


写真 - 3 横桁下面部の劣化状況

3. 橋梁補修の課題と補修レベルの設定

3.1 補修の現況と課題

構造物の補修を計画する場合に、補修レベルの設定は重要な要素の一つである。しかし、補修により得られる健全度の回復程度や、構造物の余寿命など不明確な内容が多く、補修レベルの設定に至っていないのが実情である。しかし、道路管理の効果的かつ低コスト化が求められるなか、今後は対象橋梁が位置している道路の交通特性や、気象条件および劣化状態などを総合的に判断したうえで、目標レベルを設定して補修を行ない、橋梁保全のマネジメントを行っていく必要がある。

3.2 補修レベルの設定

当該橋梁が位置している路線は軽交通区間であり、道路事情を考慮しても今後交通量が著しく増加する可能性は低いと考えられる。また、劣化部位が桁端部のみときわめて局部的で、劣化の主な原因も伸縮装置部からの漏水に伴う塩害劣化とシンプルである。そのため、顕在化している劣化箇所に配置されている鉄筋の劣化抑制対策を最小限の補修内容で施すとともに、劣化の主原因である漏水を完全に断つことで、橋梁全体としての延命化を図ることを本工事の目標とした。

4. 劣化状況調査の結果と分析

4.1 主桁端部

(1) 耳桁の外側部

耳桁部において、劣化程度が著しい桁最下部における塩化物イオン濃度の測定結果は、表面部で 11 kg/m^3 、鉄筋位置でも 6 kg/m^3 強ときわめて高濃度であった。しかし、濃度

は構造物の深度とともに急激に低下し、表面から5 cm付近で4 kg/m³程度、9 cm付近では1.2 kg/m³を下回る結果となった。鉄筋の腐食発生限界といわれる塩化物イオン濃度は1.0～2.5 kg/m³との報告が多いが、これは、かぶりやコンクリートの品質・環境条件などさまざまな要因によって異なると考えられており、日本道路公団中国支社管内では通常の場合、塩害劣化のコンクリート除去深さの判断は1.0 kg/m³以下を目標としている。しかし、今回の補修工事では、設定した補修レベルに即した補修内容を模索する目的から、日本道路公団中国支社管内の中国自動車道の既設PC橋主桁において、鉄筋位置の塩化物イオン濃度・鉄筋かぶり・鉄筋腐食度の関係を調査した結果を基礎資料として、主桁における除去深さの判断基準を塩化物イオン濃度2.5 kg/m³とした。

(2) 主桁の定着部

PC橋における定着部は、後打ちコンクリートで覆う構造であるため、打継部の目地より雨水が浸透しやすく腐食が発生しやすい部位である。伸縮装置からの漏水が著しい状態に長期間置かれていた本橋では、定着部の劣化が懸念された。しかし、端支点部および中間支点部共に遊間が非常に狭いため、事前にその劣化状況の調査を行なうことができなかつた。そのため、補修工事内において漏水状態が著しい代表箇所を抽出し、桁端部の後打ちコンクリートをウォータージェット工法（以下「WJ工法」）により慎重に除去し、劣化が懸念された定着部および周辺鉄筋の劣化状態の確認を行なった結果、腐食はまったく見られず健全な状態であることが確認された（写真-5）。この調査結果と伸縮装置撤去後における上部からの目視・打音点検などの結果から、主桁定着部については塩害劣化が進行しておらず、健全な状態であると判断し、端部のはつり作業は取り



写真-5 PC定着部の状況

止めた。

4.2 端横桁部

横桁の目視・打音調査結果では、そのほとんどの箇所に見浮き・はく離・はく落・鉄筋露出・錆汁滲出など劣化が見られた。横桁下部に発生した劣化部において塩化物イオン濃度を測定した結果、最大で7 kg/m³を超える高濃度であつ

たため、劣化状態や鉄筋位置などを考慮して除去深さを設定した。また、端横桁の伸縮装置側における塩化物イオン濃度の測定結果は、表面部において最大1 kg/m³弱程度と低く中性化も確認されなかつたため、劣化は進行していないと判断した。しかし、漏水状態によっては塩化物イオン濃度の蓄積量に差が生じることが考えられたため、主桁定着部と同様に工事内において漏水状態が著しい伸縮装置の端横桁上部をWJ工法により除去した結果、鉄筋の腐食等はまったく見られず健全な状態であることが確認された。横桁の下面部と伸縮装置側部において差が生じたことについては、伸縮装置からの塩化物イオンを多く含んだ漏水が、横桁の伸縮装置側は垂直面を流れ落ちるのに対し、横桁下面部においては水平方向にも伝うことで、当該箇所において塩化物イオンが濃縮されたことと、定常的に湿潤状態となり易い狭小な遊間部と、乾湿繰り返し状態となり易い開放的な部位との環境の条件の差も一因であると推察される。

5. 補修工法の選定と留意点

5.1 補修の基本方針

補修については、現況の状態および設定された補修レベルを考慮し、劣化部の除去と鉄筋の腐食防止のための断面修復の実施と、劣化原因である伸縮装置部からの漏水防止対策を行なうことを基本方針とした。

5.2 劣化部の除去と断面修復

(1) 劣化部のはつり方法

劣化部の除去方法については、はつり処理面へのマイクロクラックの発生や、既設鉄筋の付着切れなど補修品質に悪影響を及ぼす因子を発生させないようにWJ工法を採用した。日本道路公団におけるWJ工法のはつり評価・分類は、①コンクリート構造物に配筋された鉄筋より以深部において、断面修復に支障とならない平坦性を確保し、所定の位置までのコンクリートのはつり面処理が行なえる性能をいう“平坦度”と、②脆弱となったコンクリートを確実にはつり処理を行なえる性能をいう“セレクトイビティ”の2項目となっており、本工事ではPC桁および横桁などに発生した劣化部を除去するため、正確なはつり処理深さが制御できる“平坦度”が求められる。コンクリート除去後に露出した鉄筋については、速やかに防錆剤を塗布するものとし、その材料には腐食因子の浸透を抑制し、鉄筋との強力な付着力を有し、かつ断面修復材との付着を考慮して、普通セメントと亜硝酸塩系防錆材およびポリマーを配合した防錆ペーストを用いた。

(2) 断面修復

劣化部除去後の断面修復は、腐食鉄筋処理後の断面かぶり機能を復旧し鉄筋の劣化を防止する目的で行なうもので、一般的な工法として①コテ塗り、②プレパクトコンクリート、③打継ぎコンクリート、④吹付けなどがあり、各種条件を考慮して工法を選定している。本工事では、施工面が上向きおよび側面で比較的施工範囲もまとまっていることから吹付け工法を採用し、施工規模（厚さ・広さ）・施工ヤード・配筋状態および中国支社管内における施工実績から湿式吹付け工法とした。修復材料は施工性および既設

コンクリートとの接着性等を考慮して、ポリマーセメントモルタルを採用した。

5.3 伸縮装置部からの漏水対策

(1) 床版連結工

P1, P2, P3における伸縮装置部からの漏水対策は、既設の伸縮装置を撤去し連結鉄筋で結合し床版の連続化を図ることで漏水に対する抜本的な対策を行なうこととした。連結部の設計は、平成7年1月(財)道路保全技術センター発行の「既設橋梁のノージョイント化工法の設計施工手引き(案)」に基づき、①連結部床版のはつり幅の決定、②上部工の検討・設計、③連結径間数の検討をそれぞれ行ない、床版連結部の構造を決定した(図-2)。

(2) 二重止水構造の伸縮装置の採用

A1, A2については、構造上床版連結を行なうことができないため、漏水対策として既設伸縮装置を撤去し、非排

水型の伸縮装置を新設することとした。伸縮装置からの漏水により桁端部等が劣化する事象は過去より数多く発生しており、日本道路公団としても完全な非排水構造を有する伸縮装置の採用を定めている。しかし、交通状況・環境条件・伸縮装置の構造など各種の要因があると考えられるが、比較的早期に漏水が発生する事例も確認されている。そのため、本工事では止水機能の向上を目的として二重の止水構造を有する伸縮装置を採用することとした(図-3)。この伸縮装置の特長は、本体上部に設けられた止水材とは別に、本体の下部に施工幅員あたり連続1本となった止水部をもつ構造にあり、上部の止水材が劣化若しくは破損した場合でも、連続した下部の止水材によって確実に漏水を防ぐいわばフェールセーフ機能をもっていることである。

(3) 地覆部および壁高欄遊間部の漏水対策

伸縮装置本体と合わせて確実な漏水対策が求められる部

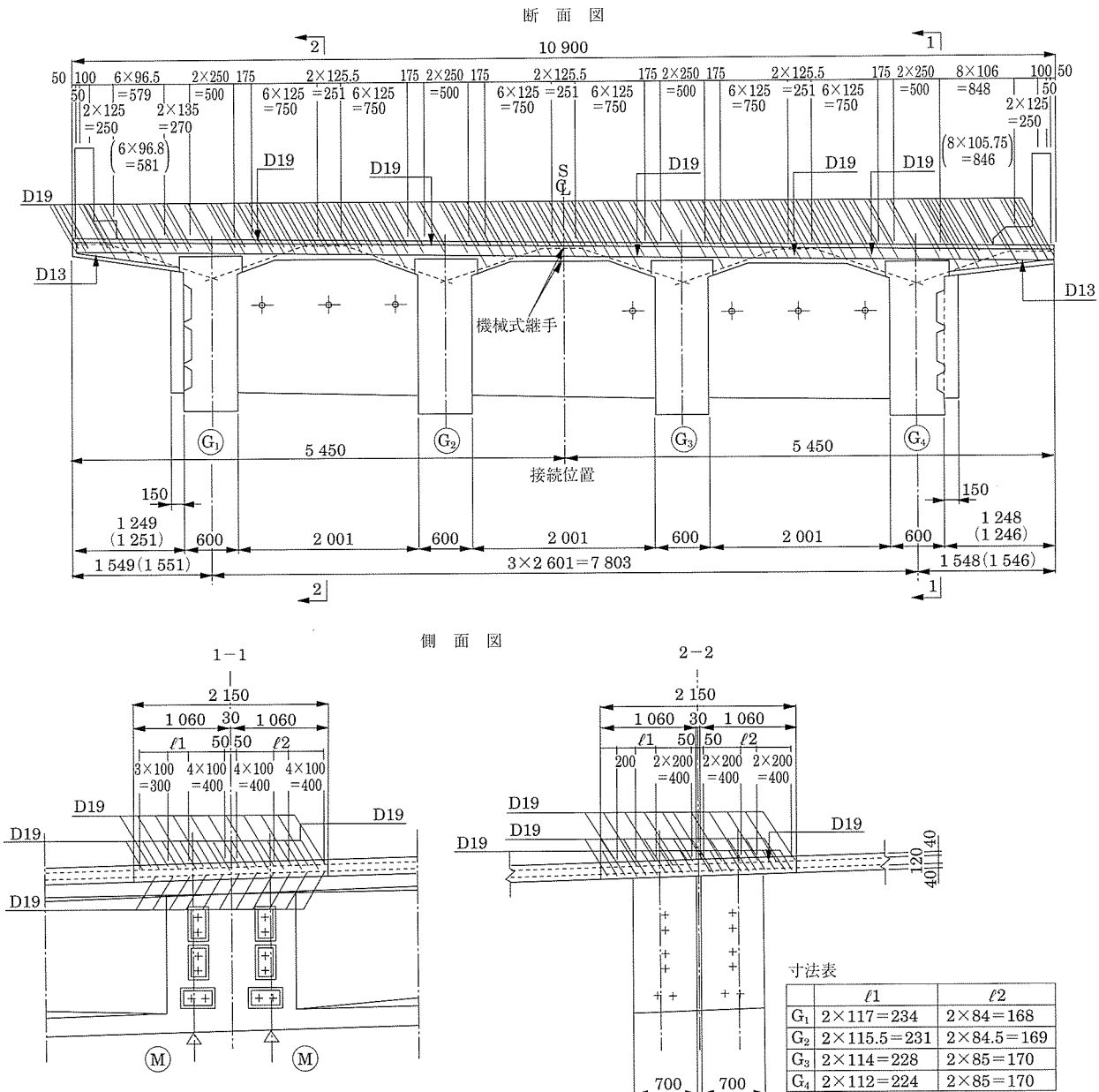


図-2 床版連結部の構造図

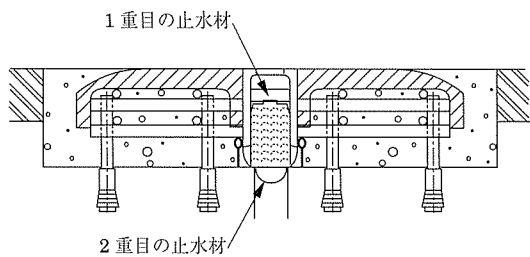


図-3 二重止水構造の伸縮装置構造図

位として地覆部の遊間がある。地覆部の遊間における止水は一般的に弾性シーラ材を用いて行なわれており、伸縮装置本体と一体になって止水構造を形成する非常に重要な部位である。しかし、地覆部の止水材は経年劣化により伸縮装置との接点部や、コンクリート面との間ではく離を生じやすく、一般的に伸縮装置本体より早く漏水が始まる箇所である。しかし、伸縮装置の取り替えの際に合わせて更新される程度で、漏水に関して重要箇所であるとの意識が薄いのが実態がある。また、本橋は積雪地に位置しているため、冬季には除雪された凍結防止剤を多く含んだ雪が、地覆と壁高欄に張り付くように堆積し、その融雪水が壁高欄の遊間部から下面に漏水する状態となるため、地覆部と合わせて壁高欄遊間部の漏水対策についても実施することとした。構造は伸縮装置端部から地覆部、壁高欄の遊間部にかけて、連続した一本の止水ゴム材料（材質：クロロプレンゴム）を接着するもので、耐久性に優れた構造のものである（写真-6）（図-4）。

5.4 床版防水工

床版防水工は日本道路公団においても橋梁建設時点での実施は標準化されており、保全段階で床版補修（補強）などを行なう場合も、全面防水工の実施を原則としている。本橋では主桁端部以外において漏水に起因する劣化は確認されていないが、予防保全の観点から床版全面防水を行な



写真-6 地覆部と壁高欄遊間部の止水対策状況

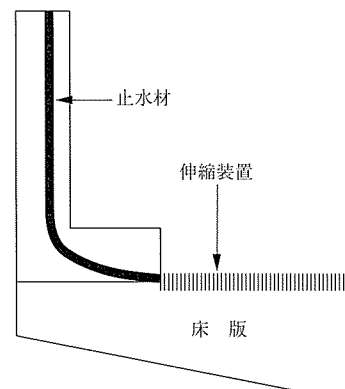


図-4 地覆・壁高遊間部の止水対策図

うこととした。

5.5 再劣化防止対策の試行

本工事では、補修レベルにより PC 桁等に発生した劣化部について、必要最小限の範囲で除去し断面修復を行なうことで鉄筋の腐食を防止することを基本としているため、コンクリート内部の塩化物イオン濃度が、一般的に塩害劣化対策として実施されるレベル以上に高い部位が一部で存在する。また、部分的な補修を行なった場合、補修部と未補修部の境界の鉄筋において、マクロセル腐食が生じやすくなることが知られているため、再劣化防止対策として電気防食工を試行することとした。なお、電気防食工法は、陽極材自身が溶解することによって防食電流を発生させる流電陽極方式とし、採用した材料は犠牲陽極材である亜鉛と鉄筋を接続する軟鋼線および亜鉛周囲の保護モルタルで構成されているシンプルな構造で、修復断面内に埋設されるものである（写真-7）。

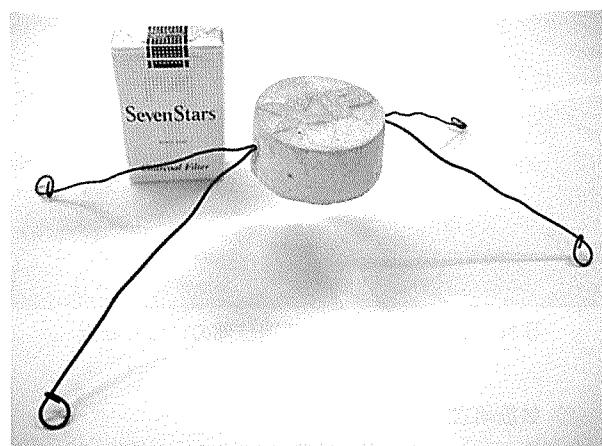


写真-7 電気防食材料

6. 施工の概要と留意点

6.1 舗装切削工

橋梁上の舗装の切削は、コンクリート床版に有害な衝撃や傷を生じさせないために、既設の舗装厚さを確認しつつ慎重に作業をおこなった。また、日本道路公団中国支社管内の中国自動車道では、縁石下の調整モルタルから漏水が

発生し、床版張出し部下面が劣化する事象が多く確認されたことから、縁石の撤去も合わせて実施した。

6.2 床版連結工

(1) はつり作業

床版連結箇所における床版のはつり工については、既設伸縮装置の撤去後に既設床版の鉄筋に損傷を与えないように細心の注意を払い実施し、新規のコンクリート打継面となる部位については、WJ工法によるはつりを採用した。なお、施工箇所は供用中車線の近傍であることから、通行車両に対する飛散に対する養生対策を行なった（写真 - 8、9）。



写真 - 8 伸縮装置撤去状況



写真 - 9 WJ工法による連結部のはつり状況

(2) 鉄筋組立て

本工事は、1方向2車線道路において1車線毎に交通規制を行ない施工することから、連結部の床版主鉄筋は幅員中央部において機械式継手を用いて接続した。また、連結部に使用する新設鉄筋については、再劣化の発生を抑制する目的で、エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用した（写真 - 10）。

(3) コンクリート工

床版連結部に用いるコンクリートについては、乾燥収縮に伴う拘束ひび割れを抑制するため、収縮補償用の膨脹コンクリートを採用した（写真 - 11）。

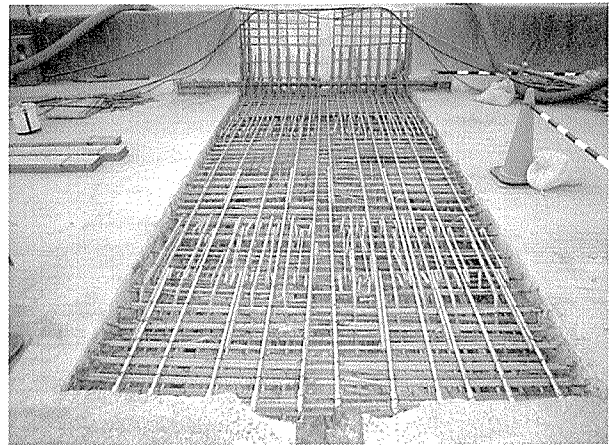


写真 - 10 連結部の配筋状況

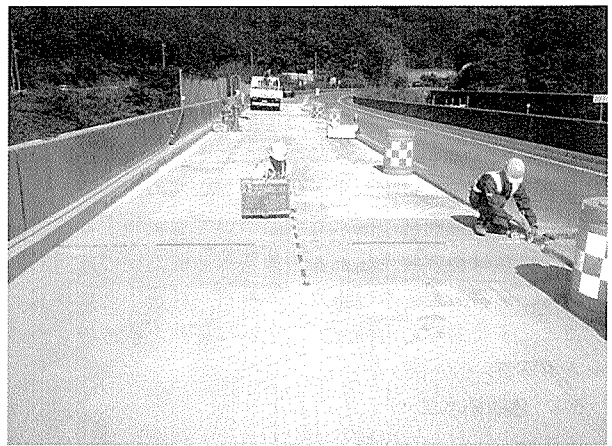


写真 - 11 床版連結完了状況

6.3 床版防水工

日本道路公団中国支社では床版防水工を行なう場合は、床版面と合わせて地覆部についても防水工を行なうことを基本としており、床版面はシート系防水、地覆部は施工性と防水性能に優れたウレタン系防水材料を吹付け工法にて施工を行なった（写真 - 12）。



写真 - 12 地覆防水工の施工状況

6.4 舗装工 (レベリング工・表層工)

レベリング層には、水密性の高い碎石マスタックアスファルト混合物を用いることで床版への防水性の向上を図り、表層には高機能舗装を採用した。

6.5 劣化部の除去

仮設の足場上で行なう PC 桁、横桁および張出し床版下面の劣化部除去作業は、作業方向や深さおよび大きさ等が多用途で、作業ヤードも狭小であるため、計量コンパクトで作業性に優れる WJ 工法のハンドガンを用いた。なお、はつり作業は対象部材が PC 構造物であることから正確な深さ管理が求められるため、はつり深度の確認を逐次行ないつつ慎重に作業を進めた。また、作業時は、はつりガラおよび高圧水の飛散が考えられるため、作業員の防護設備は当然として、周囲に対する十分な養生と、作業範囲内の立ち入り禁止措置を行なうなど安全に努めた (写真 - 13, 14)。



写真 - 13 耳桁側面部のはつり状況

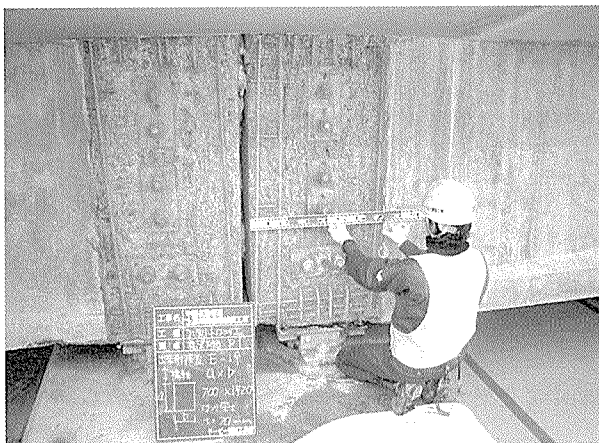


写真 - 14 劣化部の除去完了状況

6.6 流電陽極式防食材料の設置

採用した電気防食材料は、対象範囲内の鉄筋に結束し通電状態とする必要があるため、接続ワイヤーの取付け場所の鉄筋表面にある通電を阻害する異物を完全に除去し、鉄筋の地金が出るまで磨いたうえで、断面修復材の吹付けによりはがれることがないように確実に固定した。なお、設

置箇所および非設置箇所のそれぞれに、通電状態がチェックできるリード線の埋設を行なっており、今後経年的に効果の確認を行なう計画である。

6.7 断面修復工

断面修復工の吹付けの手順は、①粗吹付け：吹付けモルタルを既設の施工面が一様に隠れる程度に吹付け、施工面の不陸調整および付着力の均一化を図り、とくに鉄筋裏は吹付けが不十分になり易いため、吹付け角度や手順を定め確実な施工に努める。②本吹付け：1回の吹付け厚は30mmを最大とし、目標厚さに達するまで数層吹付け重ねる。③仕上げ吹付け：最終層は約5～10mm程度の吹付け厚とし、補修部の一体性を確保する。④コテ仕上げ：吹付け完了後に吹付け材料の状態を確認しコテ仕上げを行なう作業を基本とし、施工完了後は天候および気温等を考慮しつつ確実な養生に努めた。なお、吹付け作業はモルタルのリバウンドが発生するため、作業員は保護メガネ・防塵マスク・ゴム手袋等の防護具を着用し作業を行なった (写真 - 15, 16, 17, 18)。

7. あとがき

今回の補修工事では、調査・分析結果をもとに検討会を開き、専門業者の意見を取り入れながら対策の選定を行なった。また、工事途中においても劣化状態の確認を逐次行

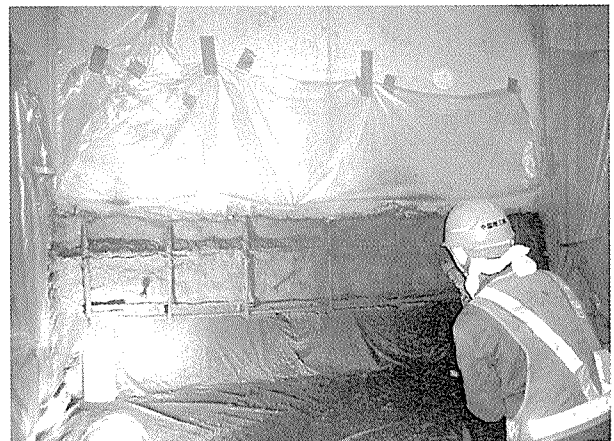


写真 - 15 断面修復工の施工状況

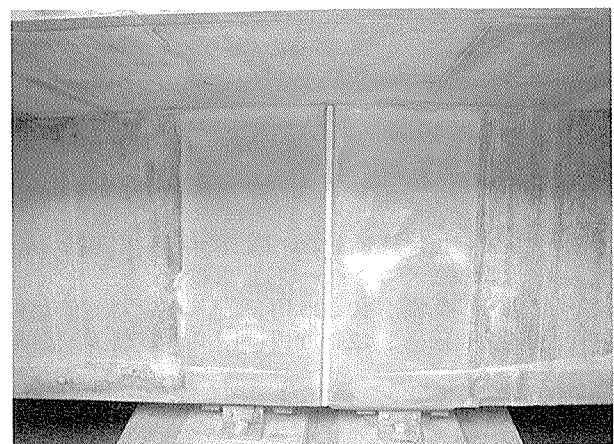


写真 - 16 断面修復完了 (耳桁側面部)

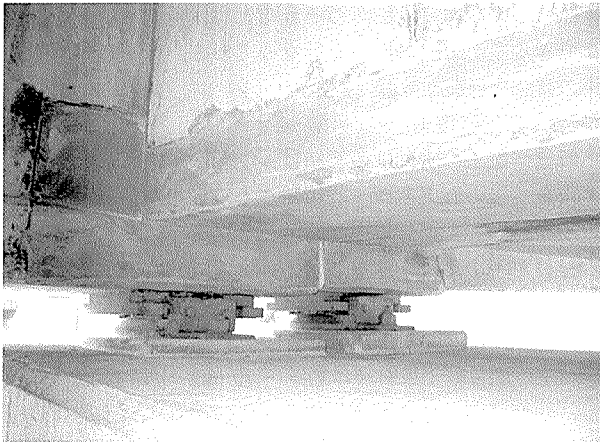


写真 - 17 断面修復完了（主桁下部・横桁下部）

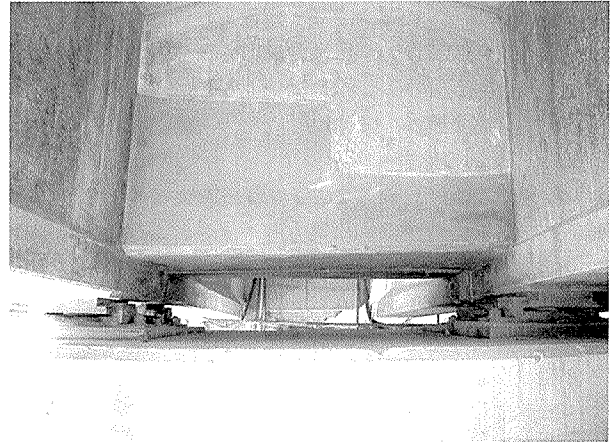


写真 - 18 断面修復完了（横桁側面部・横桁下部）

ない、その結果を受けて主桁定着部補修の取り止めや、補修範囲の変更を行なうなど劣化状況に即した補修を行なった。本橋は補修完了後から約1年が経過したが、床版連結部や断面修復部の変状などは確認されておらず良好な状態となっている。中国支社管内においては、PC橋の桁端部に劣化が顕在化している橋梁が多く確認されているため、早

期の劣化抑制対策を講じることが、今後の維持管理費の削減につながると考えられる。今回の工事が、今後のメンテナンス技術に生かされれば幸いである。最後に、本工事の計画・調査・設計・施工にあたり多大なるご指導とご協力をいただきました関係各位に心よりお礼申し上げます。

【2005年1月5日受付】



刊行物案内

第1回 *fib* コンgress 2002 — 21世紀のコンクリート構造 — 論文集

(平成14年10月)

平成14年10月に大阪で開催された標記コンgressの講演論文集です。
下記の2種類となります。

- (1) プロシーディングス1(印刷物 全2巻)：
全ての招待講演論文および採用論文の要旨
(1論文あたり2ページ)を掲載
会員 特価：10 000円(税込み・送料協会負担)
非会員価格：12 000円(税込み・送料協会負担)

- (2) プロシーディングス2(印刷物 全8巻)：
プロシーディングス1および全ての採用論文
を掲載
会員 特価：30 000円(税込み・送料協会負担)
非会員価格：36 000円(税込み・送料協会負担)